

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ МНОГОМОДОВОЙ ДВУХСЛОЙНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Ю.Б. Нечаев, Д.Н. Борисов, Е.Н. Каширская

(Воронеж, Воронежский Государственный Университет, Lena.n.k@mail.ru;)

THE STUDY OF THE RADIATION CHARACTERISTICS OF MULTIMODE TWO-LAYER SQUARE MICROSTRIP ANTENNAS

Y.B. Nechaev, D.N. Borisov, E.N. Kashirskaya

Основой микрополосковых антенн (МПА) является слоистый высокочастотный диэлектрик. Неоднородность поперечной структуры устройства усложняет механизм излучения электромагнитных волн, с одной стороны – появляются поверхностные волны, дополнительные потери в диэлектрике, поляризационные эффекты, с другой стороны – усложняется математический аппарат описаний происходящих явлений. Для микрополосковых антенн большое распространение получил резонаторный метод, позволяющий исследовать характеристики МПА с излучателем правильной геометрической формы. При этом поле между металлической пластиной и экраном описывается с помощью разложения по собственным функциям электромагнитного резонатора соответствующей формы с магнитными стенками [1, 2]. Эффект излучения учитывается введением эквивалентных потерь. Причем данный подход изучения МПА лишь косвенно учитывает влияние диэлектрической структуры при определении параметров излучения. Другая группа методов – точные по постановке, сводящие электродинамическую задачу к векторному интегральному уравнению относительно токов на металлических частях МПА. В данной работе излагается модифицированный резонаторный метод для определения характеристик МПА, основанный на электродинамическом подходе, который рационально сочетает преимущества токового и резонаторного методов. Внутренняя резонаторная задача решается в два этапа. На первом – определяются электромагнитные поля в прямоугольном резонаторе с магнитными и электрическими стенками. При описании антенны используются планарные компоненты [1]. Причем, если для объектов один из размеров намного меньше длины волны, а два других – сравнимы с длиной волны, то используются уже двумерные планарные компоненты. В случае если планарная цепь имеет простую геометрическую форму, то для описания планарных компонентов может быть использована функция Грина.

Функция Грина для прямоугольника определяется формулой [1]:

$$G(x, y | x_0, y_0) = \frac{j\omega\mu d}{ab} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sigma_n \sigma_m \cos(k_x x_0) \cos(k_y y_0) \cos(k_x x) \cos(k_y y)}{k_x^2 + k_y^2 - k^2}, \quad (1)$$

где $k_x = \frac{m\pi}{a}$, $k_y = \frac{n\pi}{b}$, $\sigma_i = \begin{cases} 1, i = 0 \\ 2, i \neq 0 \end{cases}$. Зная функцию Грина можно найти элементы матрицы сопротивления планарного компонента.

На втором этапе напряженность электрического поля используется для определения эквивалентных магнитных токов на стенках резонатора. Эквивалентная плотность магнитного тока на магнитной стенке $\vec{J} = 2\vec{n} \times \vec{z} E_z$, где \vec{n} – единичный вектор внешней нормали [1, 2]. Во внешней области улучшение метода связано с более точным расчетом электромагнитного поля путем учета диэлектрического слоя. Задача о возбуждении поля эквивалентным магнитным током сводится к определению электромагнитных полей во всех подобластях слоистой диэлектрической структуры. Для расчета электромагнитных полей используется аппарат тензорных функций Грина [3]. В однородной области, свободной от источников, произвольные электромагнитные поля могут быть представлены в виде суперпозиции волн типов E и H . Для бесконечной поперечной области, скалярная функция Грина представляет собой разложение в ряд Фурье, а вдоль оси z бегущие или стоячие волны. Эта последняя часть функции Грина называется характеристической функцией,

решение которой, находится методом эквивалентных схем [4]. Компоненты напряженности электрического поля в сферической системе координат определяются выражениями:

$$\begin{aligned} E_\varphi(\theta, \varphi) &= -E_0 \cos(\varphi) \cos(\theta) K_x F^M(\theta) - E_0 \sin(\varphi) \cos(\theta) K_y F^M(\theta), \\ E_\theta(\theta, \varphi) &= -E_0 \sin(\varphi) K_x G^M(\theta) + E_0 \cos(\varphi) K_y G^M(\theta), \end{aligned} \quad (2)$$

где $E_0 = \sqrt{120} e^{-ik_0 r} / r$ - амплитудный множитель, $E = \sqrt{E_\theta^2 + E_\varphi^2}$. Фурье-преобразование поверхностных токов:

$$K_i = k_0 \int_S J_i(x, y) e^{j\xi x + j\eta y} dS, \quad (3)$$

где волновые числа ξ и η определяется выражениями: $\xi = k_0 \sin \theta \cos \varphi$, $\eta = k_0 \sin \theta \sin \varphi$.

F^M и G^M вводятся по правилам [4]:

$$F^M \sim j\omega \varepsilon_0 f(z, z'), \quad G^M \sim \frac{j\omega \varepsilon_0}{k_0^2} \frac{\delta^2 g(z, z')}{\partial z \partial z'} \quad (4)$$

Вычисления $f(z, z')$ и $g(z, z')$ проводятся методом эквивалентных схем. На рис. 1 представлены сечения диаграмм направленности двухслойной прямоугольной МПА в главных плоскостях.

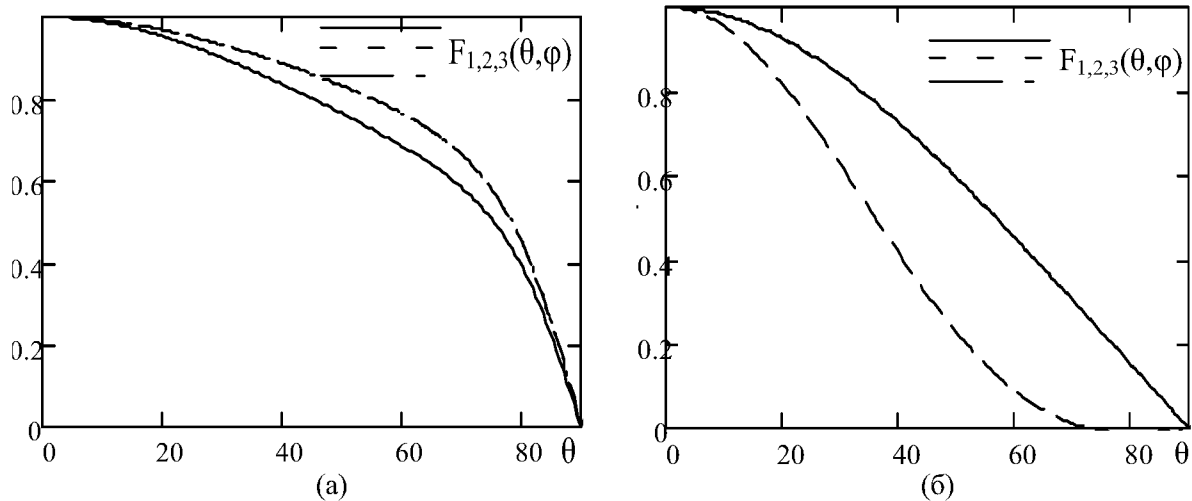


Рис. 1. Сечения диаграмм направленности в плоскостях: $\theta = 90^\circ$ (а) и $\theta = 0$ (б), резонансная частота $f=1.85$ ГГц, $\varepsilon_1 = 2$, $\varepsilon_2 = 4$, $a=8.5$ см, $b=7$ см, $d=1$ см. Способ возбуждения моды: H_{10}, H_{11}, H_{31} .

Таким образом, модифицированный резонаторный метод позволяет находить характеристики МПА на разных модах колебаний. Это становится возможным, благодаря использованию, во внутренней резонаторной задаче функции Грина (известной для излучателей простых форм) в выражении для эквивалентного магнитного тока. Во внешней области улучшение метода связано с более точным расчетом электромагнитного поля путем учета диэлектрического слоя. Задача о возбуждении поля эквивалентным магнитным током сводится к определению электромагнитных полей во всех подобластях слоистой диэлектрической структуры.

Литература

1. Гупта К. Машинное проектирование СВЧ устройств / К. Гупта, Р. Гардж, Р. Чадха. – М.: Радио и связь, 1987. – 430 с.
2. Girish Kumar Ray K. Broadband Microstrip Antennas. – Boston London. : Artech House, 2003. – 407 с.
3. Панченко Б.А. Микрополосковые антенны / Б.А. Панченко, Е.И. Нефёдов. – М. : Радио и связь, 1986. – 144 с.
4. Фелсен Л. Излучение и рассеивание волн / Л. Фелсен, Н. Маркувиц. – М. : Мир, 1978. – Т. 1. – 547 с.